

determining and comparison integral electromagnetic forces and heat power in liquid metal. As a result of 3D modelling it was found that influence of ferromagnetic plating of furnace is insignificant (not exceed 10 %) and it can be neglected. In the presence of metal pocket between inductor and liquid metal the efficiency of stirring may be reduced to 15%. At the same time there are significant electrical losses in pocket which could exceed heat power in liquid metal. It is shown that such losses and also influence of pocket on efficiency of stirring can be significantly reduced with the help of sectioning (performing of cuts) of metal pocket, and also by reducing of frequency of power supply of versatile stirrer. References 6, figures 4.

Key words: electromagnetic stirring, liquid metal, versatile inductor, structural elements of furnace, numerical modelling.

Надійшла 07.09.2017

Received 07.09.2017

УДК 621.316

ОЦІНЮВАННЯ ПОМИЛОК ПЕРШОГО І ДРУГОГО РОДУ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ШВИДКОСТІ РУХУ КОНТАКТНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕГАЗОВОГО ВИМИКАЧА

В.М. Кутін, докт. техн. наук, **О.Є. Рубаненко**, канд. техн. наук, **С.В. Мисенко**, канд. техн. наук
Вінницький національний технічний університет,
вул. Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, 21021, Україна
e-mail: rubanenkoAE@ukr.net

Проведено оцінку помилок першого та другого роду при визначенні швидкості руху рухомої контактної системи елегазового вимикача при використанні комбінованого методу діагностування високовольтних вимикачів та визначено ймовірність безпомилкової роботи системи діагностування. Бібл. 12, рис. 8, таблиця.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, локальні електричні системи, втрати активної потужності.

Вступ. Одними з найбільш важливих комутаційних апаратів, від надійності функціонування яких значною мірою залежить надійність роботи електроенергетичної системи, є високовольтні вимикачі. Під час виникнення аварійних ситуацій при пошкодженнях високовольтного обладнання завдання з їх локалізації в першу чергу виконують вимикачі. На сьогодні в Україні парк високовольтних вимикачів значно поповнився великою кількістю закордонних різних конструкцій і виробників, робота яких у більшості випадків залежить від технічного стану дугогасильної камери та приводу. Для визначення технічного стану вимикача використовують методи постійного та періодичного контролю [10, 12], найбільш інформативною формою представлення результатів яких є залежності швидкості руху рухомих контактів від часу. Проте їх отримання обмежено конструктивними особливостями, а саме місцями приєднання сенсорів кутового та лінійного переміщення [1, 2]. Запропоновано для визначення технічного стану дугогасильної камери і приводу використати метод накладання тестового високочастотного сигналу на коло, яке містить контакти камер елегазових вимикачів під час їх спрацювання.

Мета і задачі дослідження. При здійсненні контролю швидкості руху рухомої контактної системи відбуваються збір та обробка струму тестового високочастотного сигналу, який змінюється під час руху рухомої контактної системи. Вимірювання необхідної фізичної величини забезпечують відповідні вимірювальні канали, до складу яких входять первинні та нормуючі перетворювачі, засоби обробки та виведення вимірювальної інформації, тому отримане значення фізичної величини відрізнятиметься від дійсного за рахунок наявності похибок, які вносять елементи вимірювальних каналів [3, 9]. Найбільший вплив на результат контролю швидкості руху рухомої контактної системи мають похибки вимірювання струму тестового високочастотного сигналу, тому будемо вважати, що похибки визначення швидко-

сті руху рухомої контактної системи визначаються похибками вимірювання струму високо-частотного сигналу. Похибки вимірювального каналу струму можуть викликати помилкове спрацювання системи контролю швидкості руху рухомої контактної системи, імовірність виникнення такого помилкового спрацювання оцінюється помилками першого та другого роду.

Помилки першого і другого роду. Вимірне значення швидкості руху контактної системи (РКС) представимо у вигляді відхилення його дійсного значення [4]:

$$(v_D - k_a \Delta_v) \leq v \leq (v_D + \Delta_v), \quad (1)$$

де v – вимірюване значення швидкості РКС; v_D – дійсне значення швидкості РКС; Δ_v – допустиме відхилення від дійсного значення швидкості руху РКС; k_a – коефіцієнт асиметрії поля допуску.

Визначимо центрове значення швидкості РКС [5]

$$\bar{v} = v - v_D \quad (2)$$

та поле допуску за умови, що математичне сподівання закону розподілу ймовірностей вимірюваного значення швидкості РКС співпадає з дійсним значенням

$$-k_a \Delta_v \leq v \leq \Delta_v. \quad (3)$$

Нехай поле допуску є симетричним, тоді математичне сподівання похибки $m_{\Delta_v} = 0$, $k_a = 1$, а поле допуску швидкості РКС визначається як

$$-\Delta_v \leq \bar{v} \leq \Delta_v. \quad (4)$$

Якщо в результаті вимірювання значення швидкості РКС виходить за межі поля допуску, то система контролю не спрацює. При виході значення швидкості РКС за межі поля допуску система контролю формує сигнал невідповідності швидкості РКС нормованому значенню.

Результат вимірювання представляється сумою випадкових величин вимірюваного параметра і похибки вимірювання [6]:

$$I_B = \bar{I} + I + \Delta_I + m_{\Delta_I}. \quad (5)$$

Вимірні значення швидкості РКС елегазового вимикача типу ЗАР1FG 145 кВ характеризуються гістограмою, зображеною на рис. 1. Вимірювання швидкості РКС проводилось для першої контрольної точки ($t=10$ мс). Результати наведені в таблиці.

Для моменту часу $t=10$ мс визначимо максимальне та мінімальне значення швидкості РКС. Знайдемо розмах ряду $L=v_{\max}-v_{\min}=4,295-3,849=0,446$. Розділимо розмах ряду на $k=9$ рівних інтервалів $\Delta=L/k$. Підрахуємо кількість значень швидкості РКС, які попадають в кожний інтервал (рис. 1).

За формою гістограми прийемо нормальний закон розподілу як закон розподілу вимірюваного значення швидкості руху РКС, аналітичний запис якого

$$P(v) = \frac{1}{\sigma_v \cdot \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(v - m_x)^2}{2 \cdot \sigma_v^2}\right). \quad (6)$$

Математичне сподівання вимірної швидкості РКС визначимо за формулою

$$m_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i = 4,1102, \quad (7)$$

де n – кількість вимірюваних значень швидкості РКС; v_i – значення швидкості РКС.

Для побудови закону розподілення вимірюваного значення швидкості РКС перенесемо початок координат у центр розподілення m_x і відкладемо по осі абсцис похибку вимірювань Δv для кожного значення швидкості РКС:

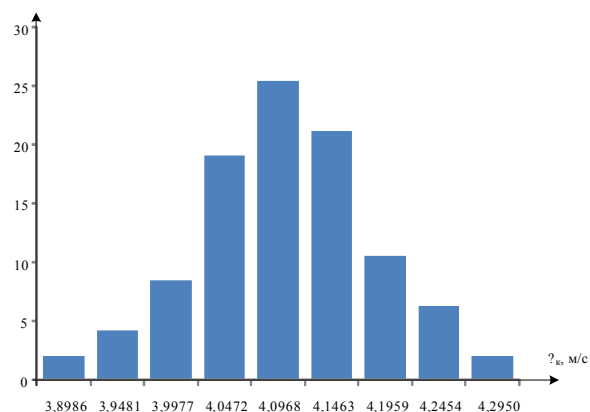


Рис. 1

$$\Delta v_i = v_{cp} - m_x \cdot \tag{8}$$

Знайдемо середнє квадратичне відхилення значення швидкості РКС:

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_i - m_x)^2}{n-1}} = 0,1439 \cdot \tag{9}$$

Отриманий закон розподілу показано на рис. 2. Прийємо закон розподілу похибок методу визначення швидкості руху РКС нормальним (рис. 2). Отже, закон розподілу похибки для обраного ЦАП, задачею якого є формування синусоїдної напруги частотою 100 кГц, прийємо нормальним ($m_p=0$ та $\sigma_{cc}=0,217$ див. рис. 2) [7].

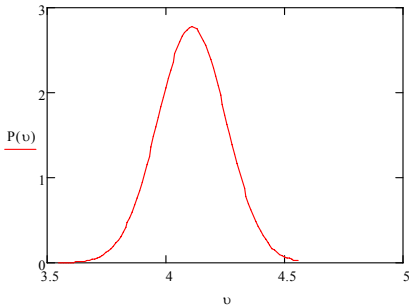


Рис. 2

$$P_{cc}(p) = \frac{1}{\sigma_{cc} \cdot \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(p - m_p)^2}{2 \cdot \sigma_{cc}^2}\right), \tag{10}$$

Закон розподілу похибки перетворювача струму прийємо рівномірним [7] та покажемо на рис. 4:

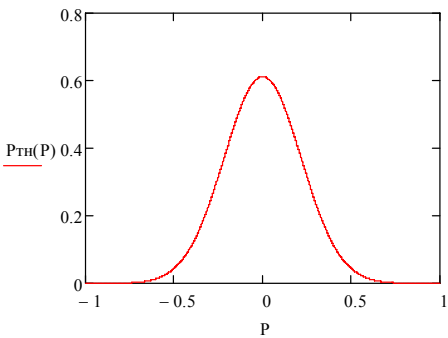


Рис. 3

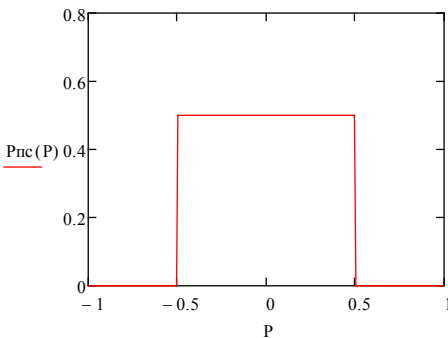


Рис. 4

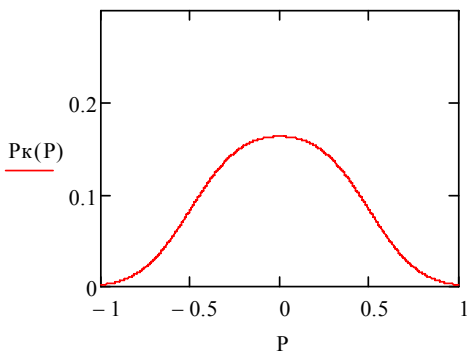


Рис. 5

№ з/п	1	2	3	4	5	6
t, мс.	0	5	8	10	12	17
vк1, м/с	0	2,5210	3,8870	4,2050	4,4520	7,3540
vк2, м/с	0	2,5400	3,8800	4,2000	4,4500	7,3500
vк3, м/с	0	2,5340	3,7960	4,1860	4,3950	7,2960
vк4, м/с	0	2,5420	3,8750	4,2950	4,5500	7,1580
vк5, м/с	0	2,4560	3,7590	4,2080	4,3590	7,2490
vк6, м/с	0	2,4890	3,7580	3,9048	4,5470	7,3480
vк7, м/с	0	2,4780	3,6890	3,9990	4,3280	7,3040
vк8, м/с	0	2,5380	3,6800	4,1050	4,2980	7,2680
vк9, м/с	0	2,4690	3,6570	4,1090	4,4860	7,1890
vк10, м/с	0	2,5410	3,7080	4,2670	4,3870	7,0940
vк11, м/с	0	2,5270	3,5860	4,1590	4,3160	7,3580
vк12, м/с	0	2,5680	3,7860	4,2570	4,2580	7,1480
vк13, м/с	0	2,4990	3,7240	4,1680	4,2790	7,2530
vк14, м/с	0	2,5040	3,8850	3,9510	4,4860	7,3540
vк15, м/с	0	2,5380	3,5840	3,8490	4,4570	7,3920
...
vк50, м/с	0	2,5540	3,5000	3,9000	4,2330	7,0500
vксерп, м/с	0	2,5186	3,7346	4,1102	4,3926	7,2603
vкmax, м/с	0	2,5680	3,8850	4,2670	4,4860	7,3920
vкmin, м/с	0	2,4990	3,5000	3,8490	4,2330	7,0500
№ з/п	7	8	9	10	11	
t, мс.	25	28	30	33	35	
vк1, м/с	9,9020	10,3150	9,4570	6,1080	0,0000	
vк2, м/с	9,9000	10,3000	9,4500	6,1000	0,4000	
vк3, м/с	9,8560	10,2950	9,4050	6,1040	0,1000	
vк4, м/с	9,6180	10,2680	9,3060	6,0480	0,0000	
vк5, м/с	9,7530	10,3060	9,4250	5,8460	0,2700	
vк6, м/с	9,8460	10,2580	9,3990	5,9870	0,0000	
vк7, м/с	9,5080	10,1870	9,3480	5,7150	0,6400	
vк8, м/с	9,5640	10,2680	9,4210	6,0990	0,0400	
vк9, м/с	9,6420	10,2370	9,4180	5,9240	0,0150	
vк10, м/с	9,5830	10,2990	9,3280	5,8430	0,4800	
vк11, м/с	9,8430	10,1830	9,3570	5,7190	0,2470	
vк12, м/с	9,7560	10,2070	9,3640	5,8420	0,0020	
vк13, м/с	9,6840	10,1990	9,3650	5,9990	0,0380	
vк14, м/с	9,8520	10,2460	9,4080	5,9240	0,1540	
vк15, м/с	9,7520	10,0650	9,2580	5,6570	0,4700	
...	
vк50, м/с	9,5000	10,1060	9,1500	5,6070	0,0030	
vксерп, м/с	9,7224	10,2337	9,3662	5,9076	0,1787	
vкmax, м/с	9,8520	10,2990	9,4080	5,9990	0,4800	
vкmin, м/с	9,5000	10,0650	9,1500	5,6070	0,0020	

$$P_{nc}(q) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } Q < -\gamma_{nc}; \\ 0,5, & \text{якщо } -\gamma_{nc} \leq Q \leq \gamma_{nc}; \\ 0, & \text{якщо } Q > \gamma_{nc}. \end{cases} \quad (11)$$

Для знаходження похибки вимірювального каналу струму скомпонуємо закони розподілу сенсора та перетворювача струму, використовуючи інтеграл згортки [8]:

$$P_{\kappa}(p) = \int_{-1}^{+1} P_{nc}(q) \cdot P_{cc}(p - q) dq, \quad (12)$$

де $P_{\kappa}(p)$ – закон розподілу похибки вимірювального каналу струму. Закон розподілу похибки вимірювання струму представлено на рис. 5.

Враховуючи те, що похибки вимірювання струму мають найбільший вплив на результат вимірювання швидкості РКС, будемо вважати, що закон розподілу похибки вимірювання швидкості РКС співпадає з законом розподілу похибки струму, тоді сумісний закон розподілу визначення швидкості руху РКС та похибки його вимірювання матиме вигляд

$$P(\Omega, \Delta) = P(v)P_{\kappa}(p) =$$

$$= \frac{1}{\sigma_v \cdot \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(v - m_x)^2}{2 \cdot \sigma_v^2}\right) \cdot \left(\int_{-1}^{+1} P_{nc}(q) \cdot P_{cc}(p - q) dq\right). \quad (13)$$

Графічне представлення сумісного закону розподілу показано на рис. 6.

Помилка першого роду (випадок, коли приймається рішення, що значення швидкості РКС знаходиться за межами поля допуску, але насправді вона в заданих межах) визначається так:

$$\alpha(\sigma_1) = \int_{k \cdot \Delta}^{\Delta} \int_{-\infty}^{x_1 - U} \frac{1}{\sigma \cdot \sigma_1 \cdot 2 \cdot \pi} \cdot \exp\left(\frac{U^2}{-2 \cdot \sigma^2} - \frac{P^2}{2 \cdot \sigma_1^2}\right) dP dU + \int_{k \cdot \Delta}^{\Delta} \int_{x_1 - U}^{\infty} \frac{1}{\sigma \cdot \sigma_1 \cdot 2 \cdot \pi} \cdot \exp\left(\frac{U^2}{-2 \cdot \sigma^2} - \frac{P^2}{2 \cdot \sigma_1^2}\right) dP dU. \quad (14)$$

З рис. 7 визначено значення помилки першого роду $\alpha(\sigma_{\text{вим}}) = 0,072$. Помилка другого роду (випадок, коли приймається рішення, що значення швидкості РКС знаходиться в заданих межах поля допуску, але насправді вона за допустимими межами) визначається з рис. 8.

З номограми визначено значення помилки другого роду $\beta(\sigma_{\text{вим}}) = 5,4 \cdot 10^{-7}$.

У формулах (10), (12) вибрано такі межі інтегрування:

$$\begin{cases} X_1 = \Delta - m_{\Delta\omega}, \\ X_2 = -k_a \Delta - m_{\Delta\omega}. \end{cases} \quad (15)$$

Результуюча достовірність проведеного контролю $D = 1 - \alpha(\sigma_{\text{вим}}) - \beta(\sigma_{\text{вим}}) = 0,928$.

Висновки. Здійснено оцінку помилок першого та другого роду системи визначення технічного стану елегазових вимикачів комплексного методу діагностування та встановлено, що ймовірність безпомилкової роботи системи діагностування складає 92,8 %.

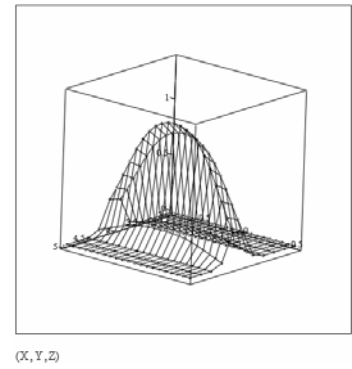


Рис. 6

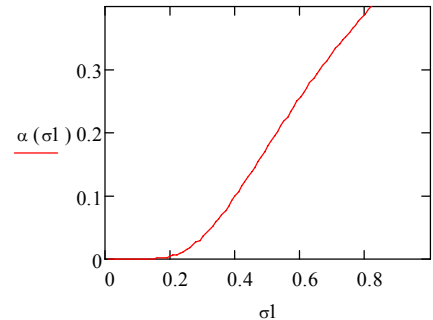


Рис. 7

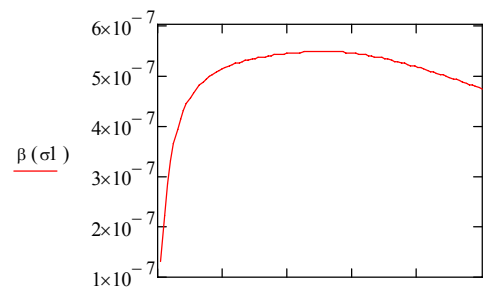


Рис. 8

1. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 34 с.
2. Абдурахманов А.М., Мисриханов М.Ш., Неклепаев Б.Н., Шунтов А.В. Об особенностях структуры параметра потока отказов выключателей // Электрические сети и системы – 2005. – Вып. 5. – С. 54–57.
3. Михайлюк Р.І., Мисенко С.В., Кутін В.М., Рубаненко О.Є. Досвід та перспективи експлуатації елегазових вимикачів у Південно-Західній енергетичній системі // Енергетика та електрифікація. – 2014. – № 3. – С. 34–37.
4. Кутін В.М., Рубаненко О.Є., Мисенко С.В. Визначення технічного стану елегазових високовольтних вимикачів в умовах експлуатації // Вісн. НТУ «ХПІ». – 2014. – № 60 (1102). – С. 57–68.
5. Изоботенко Б.А., Ильинский Н.Ф., Копылов И.П. Планирование эксперимента в электротехнике. – М.: Энергия, 1975. – 202 с.
6. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешности результатов измерения, 2-е изд. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1991. – 304 с.
7. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.
8. Коваленко Н.И., Филиппова А.А. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высш. шк., 1982. – 252 с.
9. Тартаковский Д.Ф., Ястребов А.С. Метрология, стандартизация и технические средства измерения. – М.: Высш. шк., 2001. – 205 с.
10. Рубаненко О.Є., Мисенко С.В., Рубаненко О.О. Вплив вібрації контактів на подальшу роботу високовольтних вимикачів // Вібрації в техніці та технологіях. – 2013. – № 1 (69). – С. 72–77.
11. Кутін В.М., Рубаненко О.Є., Мисенко С.В. Оптимізація параметрів пристрою контролю швидкісних характеристик високовольтних вимикачів // Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Електротехніка і енергетика». – 2013. – № 2 (15). – С. 141–146.
12. Пат. № 93700 Україна, МПК H02J 3/24 (2006.01). Пристрій для визначення швидкісних характеристик високовольтних вимикачів / В.М. Кутін, О.Є. Рубаненко, С.В. Мисенко. – № u201405109; Заявл. 14.05.2014; Опубл. 10.10.2014, Бюл. №19.

УДК 621.316

В.М. Кутін, докт. техн. наук, **А.Є. Рубаненко**, канд. техн. наук, **С.В. Мисенко**, канд. техн. наук

Винницький національний технічний університет,
ул. Хмельницькое шоссе, 95, Винница, 21021, Украина

Оценивание ошибок первого и второго рода при определении скорости движения движимой контактной системы элегазового выключателя

Проведена оцінка помилок першого і другого роду при визначенні швидкості руху рухомих контактної системи елегазового вимикача при використанні комбінованого методу діагностування високовольтних вимикачів і визначено ймовірність безпомилкової роботи системи діагностування. Бібл. 12, рис. 8, таблиця.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, локальные электрические системы, потери активной мощности.

V.M. Kutin, O.E. Rubanenko, S.V. Mysenko

Vinnitsia national technical university,
str. Khmelnytsky Highway, 95, Vinnitsia, 21021, Ukraine

Evaluation of errors of the first and second order determining the speed of a moving contact system gas insulated switch

The estimation errors of first and second order in determining the speed of a moving contact system ne hazovoho switch when using the combined method of diagnosing high-voltage switches and determines the probability of error-free operation of the system diagnostics. References 12, figures 8, table.

Key words: renewable energy, local electric system, active power losses.

Надійшла 07.09.2017

Received 07.09.2017